

PENGARUH KANDUNGAN SULFAT DALAM AIR CAMPURAN DAN AIR PERAWATAN KERAS TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Sudarmoko *)

ABSTRACT

Water is required in the production of concrete in order to precipitate chemical reaction with the cement, to wet aggregate, and to lubricate the mixture for easy workability. Water having harmful ingredients, contamination, silt, oil, sugar, or chemicals is destructive to the aggregate and the cement paste and can adversely affect the workability of the mix.

The research was conducted to investigate the effect of sulphate contained in the mixing and curing water on the compressive strength of concrete. Two sulphate contains in the mixing water on the curing water were used for this study and the results were compared to the compressive strength of concrete made with normal water. Five conditions of specimens were investigate in the research, i. e. the concrete mixes were are (a) made and cured with normal water, (b) made with normal water and cured in water contained 6 gr/l of sulphate, (c) made with water contained 6 gr/l of sulphate and cured in normal water, (d) made with normal water and cured in water contained 2 gr/l of sulphate, and (e) made with water contained 2 gr/l of sulphate and cured in normal water.

Results show that sulphate contained in the curing water no effect in the hydration process of cement but would hamper the process and slow down the setting time of concrete if contained in the mixing water.

PENDAHULUAN

Untuk mendapatkan kuat tekan beton yang tinggi, banyak faktor yang mempengaruhinya, yang salah satunya adalah kualitas air, baik untuk campuran maupun untuk perawatan keras. Air yang dipakai harus memenuhi persyaratan-persyaratan tertentu, yang diantaranya harus tidak mengandung zat-zat yang merugikan beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sulfat, baik yang terkandung dalam air campuran beton maupun air perawatan keras terhadap kuat tekan beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) yang membentuk massa padat.

Di dalam proses perkembangannya, upaya peningkatan mutu kekuatan beton dapat dilakukan dengan upaya peningkatan mutu bahan dasar beton. Selain dari itu proses produksi bahan yang meliputi tahap-tahap pelaksanaan seperti (Gambhir, 1986) : penakaran bahan, pencampuran, pengangkutan, pencoran, pemadatan, dan perawatan keras juga mempunyai peranan penting. Dalam penelitian ini, salah satu tahap yang ditinjau adalah pengaruh air campuran dan perawatan keras.

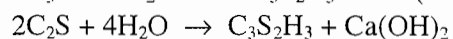
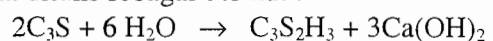
Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi, jika terbentuk dari bahan-bahan yang berkualitas baik dan membentuk suatu massa yang kokoh dan kuat serta pori yang terbentuk sekecil mungkin.

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker. Empat senyawa kompleks terpenting yang terkandung dalam semen adalah (Neville, 1987) (a). C_3S , (b) C_2S (c) C_3A (d) C_4AF .

Bila semen terkena air C_3S segera mulai berhidrasi dan menghasilkan panas, sehingga C_3S berpengaruh besar terhadap pengerasan semen sebelum mencapai umur 14 hari (Gambhir, 1986).

C_3A merupakan senyawa penting penyusun semen portland yang bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan sesudah 24 jam. C_3A bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40 % beratnya, namun karena jumlah unsur ini yang sedikit maka pengaruhnya terhadap jumlah air hanya sedikit. Semen yang mengandung unsur ini lebih dari 10 % akan kurang tahan terhadap serangan sulfat karena reaksi antara C_3A dan H_2SO_4 akan menghasilkan senyawa dengan volume yang membesar sehingga akan mengakibatkan retak-retak pada beton. Oleh karena itu semen yang tahan terhadap sulfat tidak boleh mengandung unsur C_3A terlalu banyak (maksimum 5 %).

Proses hidrasi pada semen portland sangat kompleks, sehingga tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus proses kimia (berupa perkiraan) untuk reaksi hidrasi dari unsur C_2S dan C_3S dapat ditulis sebagai berikut :



*) Ir. Sudarmoko, M.Sc., Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UGM

Hasil utama dari proses di atas adalah $C_3H_2S_3$ yang biasa disebut *Tobermorite* dan berbentuk gel. Proses hidrasi butir-butir semen berlangsung sangat lambat. Bila masih dimungkinkan, penambahan air masih diperlukan oleh bagian dalam butir-butir semen untuk menyempurnakan proses hidrasi.

Proses hidrasi tergantung pada ketersediaan air. Walaupun dalam keadaan normal, air tersedia dalam jumlah memadai untuk hidrasi penuh selama pencampuran, perlu adanya jaminan bahwa masih ada air tertahan atau jenuh untuk memungkinkan kesempurnaan proses pengikatan dan pengerasan.

Dalam kenyataannya, pasta semen tidak akan berhidrasi secara sempurna, karena butir-butir semen yang besar ditutupi oleh suatu lapisan tebal senyawa $C_3S_2H_3$ yang menghalangi terjadinya reaksi (Mindess and Young, 1981). Selain itu, pada pasta semen dengan faktor air semen rendah akan terjadi proses pengeringan dengan sendirinya selama proses hidrasi dan akan mencegah panas hidrasi yang terus menerus, kecuali kalau ada air yang disediakan dari luar.

CARA PENELITIAN

Bahan

1. Semen, menggunakan semen portland jenis I, merk Nusantara dengan kemasan 40 kg.
2. Bahan batuan, digunakan pasir dan kerikil tipe *uncrushed* dari sungai Krasak, Tempel, Sleman.
3. Air, diambil dari jaringan air bersih di Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, FT-UGM.
4. Asam sulfat H_2SO_4

Alat

1. Saringan dan mesin pengayak.
2. Timbangan merk ELE, dan Bascula, dan timbangan kodok.
3. Takaran baja, gelas ukur, dan mistar
4. Mesin aduk beton, kerucut Abrams, dan cetakan silinder.
5. Mesin uji tekan beton.

PELAKSANAAN PENELITIAN

Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan meliputi penetapan ukuran butiran maksimum kerikil, pemeriksaan berat jenis dan gradasi agregat, kekerasan kerikil, dan pemeriksaan kandungan lumpur dan zat organik dalam pasir.

Perancangan Adukan Beton dan Pembuatan Benda Uji

Perancangan adukan beton berdasar pada standar *Design of Normal Concrete Mixes* (Teychenne, et al, 1975), mendapatkan kebutuhan bahan untuk 1 m beton dengan f.a.s. 0,48 dan slump antara 10 mm sampai dengan 30 mm adalah 160 kg air, 330 kg semen, 649,4 kg pasir, dan 1260,6 kg kerikil.

Pasir dan kerikil dibuat jenuh air kering muka, semua bahan susun ditimbang dengan perbandingan kebutuhan yang direncanakan, dan dicampur dalam *concrete mixer* Benda uji berbentuk silinder sebanyak 54 buah dibuat untuk 5 perlakuan beton, yaitu :

1. Beton normal yang dirawat dalam air biasa (B1),
2. Beton normal yang dirawat dalam air yang mengandung H_2SO_4 6 gr/l (B2),
3. Beton yang air campurannya mengandung H_2SO_4 6 gr/l dan dirawat dalam air biasa (B3),
4. Beton normal yang dirawat dalam air yang mengandung H_2SO_4 2 gr/l (B4),
5. Beton yang air campurannya mengandung H_2SO_4 2 gr/l dan dirawat dalam air biasa (B5).

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian dilakukan dengan mesin tekan merk ELE dengan kapasitas maksimum 2000 kN untuk umur 7, 14 dan 28 hari dengan masing-masing pengujian diwakili oleh 3 data.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Agregat halus dan kasar

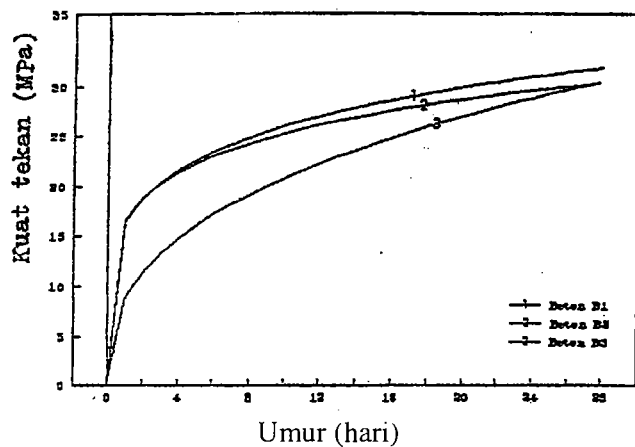
Dari hasil pemeriksaan pasir didapat kandungan lumpur sebesar 1,42 %, berat jenis $2,67 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis jenuh kering muka (SSD) $2,72 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai serapan air 1,97%. Pemeriksaan terhadap gradasi butiran pasir memberikan modulus halus butir 2,23 dan gradasi II. Dapat disimpulkan pasir cukup baik dipakai untuk campuran beton.

Pemeriksaan kerikil menghasilkan berat jenis $2,45 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis jenuh kering muka $2,55 \text{ gr/cm}^3$, dan pembubukan sebesar 19,3 %. Pemeriksaan gradasi menghasilkan nilai modulus halus butir (mhb) 6,70 dan serapan air 3,92 %. Dapat disimpulkan kerikil cukup baik untuk dipergunakan.

Kuat tekan beton

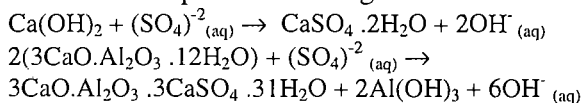
Pengujian kuat tekan yang berupa silinder beton memperlihatkan benda uji beton B2, B3, B4 dan B5 akan memiliki kenampakan yang lain dari beton B1,

yaitu warna benda uji menjadi keputih-putihan. Untuk beton B2 dan B4 ketebalan warna keputihan ini sangat tipis untuk umur 7 dan 14 hari, dan sekitar 1 mm pada umur 28 hari.



Gambar 1. Perbandingan pengujian kuat tekan beton B1, B2, B3

Dengan melihat Gambar 1 tampak bahwa pada umur 7 hari beton B1 dan B2 mempunyai nilai kuat tekan yang hampir sama, sedangkan untuk beton B3 menunjukkan nilai yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena sulfat yang terkandung dalam air adukan beton B3 akan ikut dalam reaksi hidrasi semen. Meskipun demikian pada umur 28 hari, nilai kuat tekan beton menunjukkan nilai yang hampir sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa perbedaan jenis perlakuan beton B1, B2, dan B3 tidak memberikan pengaruh pada nilai akhir kuat tekan beton, hanya ion sulfat akan sedikit berpengaruh pada ikatan awal semen berupa sedikit memperlambat reaksi hidrasi. Reaksi yang terjadi antara ion-ion sulfat dengan semen atau beton adalah pada Ca(OH)_2 dan Kalsium Aluminat Hidrat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$). Reaksi ion-ion sulfat dengan Ca(OH)_2 dan Kalsium Aluminat Hidrat dapat ditulis sebagai berikut :

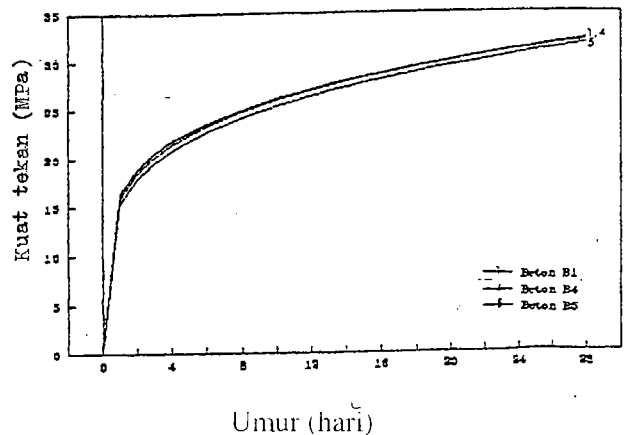


Hasil reaksi tersebut di atas adalah Kalsium Sulfat atau gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan Kalsium Sulphoaluminat atau ettringite ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$) yang menempati volume yang lebih besar dari pada senyawa-senyawa yang digantikan tempatnya sehingga mengakibatkan terjadinya pengembangan dan pemisahan dari pasta semen yang disertai dengan terjadinya tegangan-tegangan internal

yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya retak-retak dan lepasnya partikel-partikel beton sehingga memperlemah kekuatan beton.

Pada beton B2 selama 7, 14 dan 28 hari berturut-turut memiliki kuat tekan sebesar 23,77 MPa, 26,92 MPa, dan 30,49 MPa. Hasil yang berbeda ditunjukkan oleh beton B3, dimana kuat tekan beton yang dihasilkan untuk umur 7, 14, dan 28 hari, berturut-turut sebesar 18,31 MPa ; 23,66 MPa dan 30,59 MPa. Jika dibandingkan dengan kuat tekan beton B1, untuk umur 7, 14, dan 28 hari masing-masing sebesar 24,27 MPa, 27,86 MPa dan 31,99 MPa, memperlihatkan bahwa ion sulfat akan memperlambat proses pengerasan beton.

Jadi dapat disimpulkan bahwa air perawatan beton tidak masuk atau menggantikan air yang ada dalam beton, tetapi air perawatan beton yang mengandung zat kimia agresif sulfat akan memperlemah atau merusak kekuatan beton secara perlahan-lahan, dimulai dari sisi luar yang mempunyai kontak langsung dengan lingkungan yang mengandung sulfat.

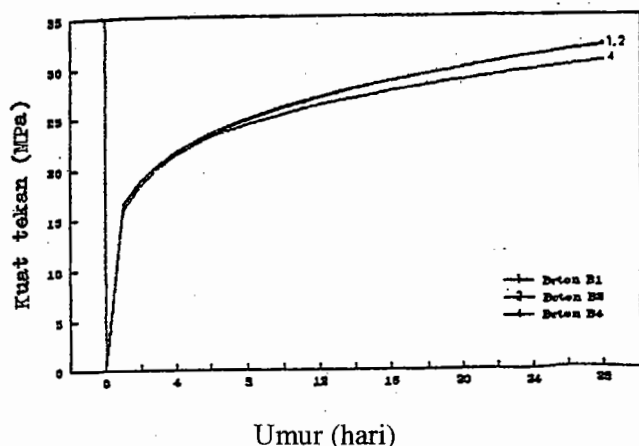


Gambar 2. Perbandingan pengujian kuat tekan beton B1, B2, B4

Dari Gambar 2 tampak bahwa kuat tekan beton B1 dan B4 ternyata memiliki nilai yang relatif sama. Akan tetapi pada beton B2 terjadi penurunan mulai pada umur 14 hari hingga umur 28 hari, walaupun kuat tekan beton yang dihasilkan tetap naik sejalan dengan umur betonnya. Penurunan kuat tekan beton tersebut relatif kecil, yaitu 1,514 MPa dari beton B1 pada umur 28 hari. Ini menunjukkan bahwa air perawatan beton tidak masuk ke dalam beton sehingga proses hidrasi berlangsung secara normal.

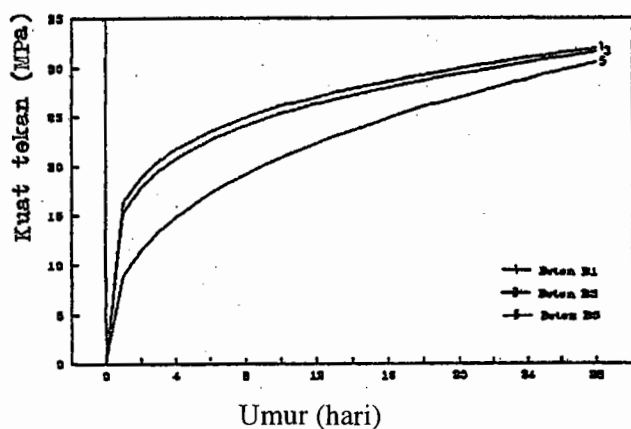
Air perawatan beton yang mengandung unsur kimia agresif sulfat akan berpengaruh dengan merusak beton secara perlahan-lahan mulai dari tepi dan sudut beton dengan terjadinya pelepasan butir-butir partikel beton dan pengembangan atau pemekaran.

Seperti halnya hasil di atas, pada beton dengan perlakuan 1, 4 dan 5, dengan konsentrasi H_2SO_4 yang berbeda (2 gr/l) memberi hasil yang mirip. Dengan mengubah konsentrasi larutan H_2SO_4 pada campuran adukan beton (beton B5) dan air perawatan beton (beton B4), seperti terlihat pada Gambar 3, maka diperoleh kuat tekan yang relatif hampir sama pada ketiga beton B1, B4 dan B5.



Gambar 3. Perbandingan pengujian kuat tekan beton B1, B4 B5

Pada beton B5, diperoleh kuat tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari berturut-turut 23,42 MPa, 27,20 MPa, dan 31,59 MPa. Kuat tekan yang dihasilkan ini ternyata lebih kecil dari beton B1 berturut-turut sebesar 0,82 MPa, 0,66 MPa dan 0,40 MPa. Hal ini menunjukkan pengaruh yang sama dari ion sulfat, yaitu memperlambat proses pengerasan beton, seperti yang terjadi pada beton B3, hanya berbeda dalam derajat perlambatannya. Namun pada beton B4 kuat tekan beton yang dihasilkan relatif sama.



Gambar 4. Perbandingan pengujian kuat tekan B1, B3, B5

Dari hasil regresi disusun kuat tekan beton untuk perlakuan 1, 3 dan 5 dalam Tabel 1. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa beton B5 akan mengalami pengurangan kuat tekan untuk umur 7, 14, dan 28 hari masing-masing sebesar 0,82 MPa, 0,66 MPa dan 0,40 MPa terhadap beton B1, sedangkan untuk beton B3 kuat tekannya lebih kecil masing-masing sebesar 5,04 MPa, 4,20 MPa, dan 1,4 MPa.

Tabel 1. Kuat tekan beton (MPa) hasil regresi

Perlakuan	Umur Beton		
Beton	7 hari	14 hari	28 hari
B1	24,27	27,86	31,99
B2	23,77	26,92	30,49
B3	18,31	23,77	30,59
B4	24,00	27,76	32,10
B5	23,42	27,20	31,59

Tabel 2. Garis kemiringan (gradien) kuat tekan beton

Perlakuan	Gradien kuat tekan beton	
Beton	7 hari ke 14 (hr)	14 ke 28 (hr)
B1	1,60	31,99
B2	1,48	30,49
B3	2,50	30,59
B4	1,67	32,10
B5	1,71	31,59

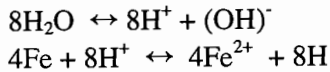
Dengan melihat Tabel 1 dan 2 dapat dijelaskan bahwa beton B3 dan B5 menghasilkan kuat tekan awal yang rendah, yaitu 59,86 MPa dan 74,14 MPa. Bila dibandingkan dengan beton tipe perlakuan lain, gradien (garis kemiringan) kuat tekan beton dari umur 7 hari ke 14 hari dan 14 hari ke 28 hari, yaitu 2,50 dan 1,62 untuk beton B3; serta 1,71 dan 0,99 untuk beton B5, merupakan nilai terbesar.

Hal ini menunjukkan bahwa pada beton B3 dan B5, ion sulfat dalam adukan beton akan memperlambat proses pengerasan awal dari beton dan setelah itu proses pengerasan beton akan berlangsung cepat sehingga tercapai kuat tekan maksimal beton yang relatif hampir sama dengan kuat tekan beton B1. Besarnya pengaruh perlambatan pengerasan beton tergantung pada konsentrasi sulfatnya, yaitu dengan semakin besar konsentrasi sulfatnya maka makin besar perlambatan yang terjadi pada pengerasan betonnya.

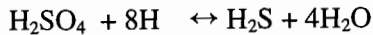
Pada umumnya bangunan terbuat dari beton bertulang. Bangunan yang terletak di daerah/ lingkungan yang mengandung ion sulfat akan terjadi kemungkinan bahwa tulangan beton berhubungan/

kontak dengan ion sulfat pada saat perawatan keras maupun akibat air campuran beton yang mengandung ion sulfat dan hal ini akan mengakibatkan terjadinya korosi pada tulangan. Mekanisme terjadinya korosi adalah sebagai berikut

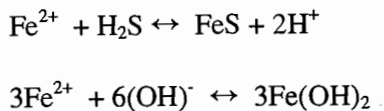
Pembentukan anoda :



Pembentukan katoda :



Hasil korosi :



Dan keseluruhan jaringan reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:



Terlihat bahwa ion Fe^{2+} akan lepas dari persenyawaan baja tulangan karena bereaksi dengan ion Hidroksida (OH^-) dan Hidrogen Sulfat (H_2S) yang kemudian menghasilkan Ferro Sulfat dan Ferro Sulfida, yang sangat merugikan tulangan karena dengan terganggunya persenyawaan baja tulangan maka kekuatan dan diameter tulangan akan berkurang. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Sulphate Resisting Portland Cement* sangat berguna bagi struktur beton, yaitu dalam melindungi tulangan dari korosi yang disebabkan oleh lingkungan yang mengandung ion sulfat.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Air perawatan keras yang mengandung ion sulfat dengan konsentrasi tinggi akan menghasilkan kuat tekan beton yang lebih rendah.
2. Air adukan yang mengandung ion sulfat akan memperlambat proses hidrasi pengerasan beton sebanding dengan konsentrasi ion sulfatnya.

Saran

1. Perlu penelitian dengan variasi konsentrasi sulfat yang lebih banyak.
2. Perlu penelitian dengan periode rendaman/perawatan keras yang lebih lama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada Atur Parhorasan NS yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1982, *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan PU, Bandung.
- Gambhir, M.L., 1986, *Concert Technology*, McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Dehli.
- Mindes, S. and Young, J. F., 1981, *Concrete*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Murdock, L.J. and Brook, K.M., *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Neville, A.M. dan Brooks, J.J., 1987, *Concrete Technology*, Longman Scientific & Technical Copublished in The US with John Wiley & Sons Inc, New York.
- Teychenne, D. C., Franklin, R.E., Erntroy, H. C., 1975, *Design of Normal Concrete Mixes*, Department of the Environment, Building Reasearch Establishment, Transport and Road Reasearch Laboratory, London.
- Tjokrodinuljo, K., 1992, *Teknologi Beton*, Buku Ajar Jurusan Teknik Sipil FT UGM, Yogyakarta.